

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 072 957 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

31.01.2001 Patentblatt 2001/05

(51) Int. Cl.⁷: **G03F 7/20**

(21) Anmeldenummer: **00115730.4**

(22) Anmeldetag: **21.07.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **30.07.1999 DE 19935404**

(71) Anmelder:

• **Carl Zeiss**

89518 Heidenheim (Brenz) (DE)

Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**

• **Carl Zeiss Stiftung Trading as Carl Zeiss**

89518 Heidenheim (DE)

Benannte Vertragsstaaten:

GB

(72) Erfinder:

• **Schultz, Jörg**

73430 Aalen (DE)

• **Rothweiler, Dirk, Dr.**

73434 Aalen (DE)

(74) Vertreter: **Dr. Weitzel & Partner**

Friedenstrasse 10

89522 Heidenheim (DE)

(54) **Beleuchtungssystem mit mehreren Lichtquellen**

(57) Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere für die EUV-Lithographie mit

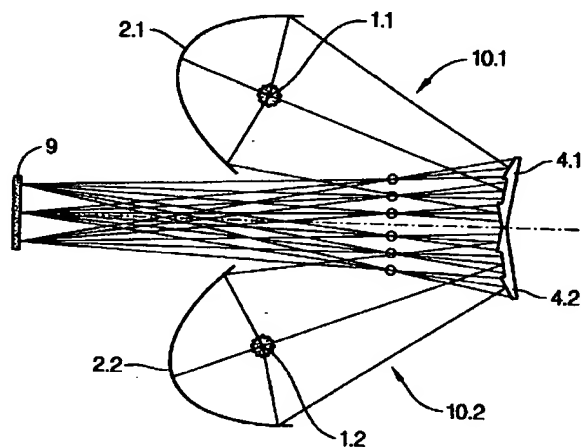
mehreren Lichtquellen

einer Spiegelvorrichtung zur Erzeugung sekundärer Lichtquellen umfassend mehrere Spiegel, der bzw. die in Rasterelemente gegliedert sind.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß

die mehreren Lichtquellen miteinander gekoppelt werden, um die Austrittspupille des Beleuchtungssystems bis zu einem vorgegebenen Füllgrad auszuleuchten.

Fig.1



EP 1 072 957 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, also beispielsweise die VUV- und die EUV-Lithographie mit mehreren Lichtquellen sowie einer Spiegel- oder Linsenvorrichtung zur Erzeugung sekundärer Lichtquellen umfassend mehrere Spiegel oder Linsen, der bzw. die in Rasterelemente gegliedert sind.

[0002] Um die Strukturbreiten für elektronische Bauteile noch weiter reduzieren zu können, insbesondere in den Submikronen-Bereich, ist es erforderlich, die Wellenlängen des für die Mikrolithographie eingesetzten Lichtes zu verringern.

[0003] Denkbar ist bei Wellenlängen kleiner als 193 nm beispielsweise die Lithographie mit weichen Röntgenstrahlen, die sogenannte EUV-Lithographie.

[0004] Ein für die EUV-Lithographie geeignetes Beleuchtungssystem soll mit möglichst wenigen Reflektionen das für die EUV-Lithographie vorgegebene Feld, insbesondere das Ringfeld eines Objektivs entsprechend den Lithographie-Anforderungen homogen, d.h. uniform ausleuchten, des weiteren soll die Pupille des Objektivs feldunabhängig bis zu einem bestimmten Füllgrad σ ausgeleuchtet werden und die Austrittspupille des Beleuchtungssystems in der Eintrittspupille des Objektivs liegen.

[0005] Betreffend den prinzipiellen Aufbau von EUV-Beleuchtungssystemen wird auf die anhängigen Anmeldungen EP 99106348.8, eingereicht am 02.03.1999, mit dem Titel "Beleuchtungssystem, insbesondere für die EUV-Lithographie", US-Serial No. 09/305, 017, eingereicht am 04.05.1999 mit dem Titel "Illumination-System particularly for EUV-Lithography" sowie PCT/EP 99/02999, eingereicht am 04.05.1999, mit dem Titel "Beleuchtungssystem, insbesondere für die EUV-Lithographie" der Anmelderin verwiesen, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird.

[0006] Als Lichtquellen für EUV-Beleuchtungssysteme werden derzeit diskutiert:

Laser-Plasma-Quellen
Pinch-Plasma-Quellen
Synchrotron-Strahlungsquellen

[0007] Bei Laser-Plasma-Quellen wird ein intensiver Laserstrahl auf ein Target (Festkörper, Gasjet, Tröpfchen) fokussiert. Durch die Anregung wird das Target so stark erhitzt, daß ein Plasma entsteht. Dieses emittiert EUV-Strahlung.

[0008] Typische Laser-Plasma-Quellen weisen eine kugelförmige Abstrahlung auf, das heißt einen Abstrahlwinkel von 4π sowie einen Durchmesser von 50 μm bis 200 μm .

[0009] Bei Pinch-Plasma-Quellen wird das Plasma über elektrische Anregung erzeugt.

[0010] Pinch-Plasma-Quellen lassen sich als Volumenstrahler ($D = 1.00$ mm) beschreiben, die in 4π abstrahlen, wobei die Abstrahlcharakteristik durch die Quellgeometrie gegeben ist.

[0011] Bei Synchrotronstrahlungsquellen kann man derzeit drei Arten von Quellen unterscheiden:

- Bending-Magneten
- Wiggler
- Undulatoren

[0012] Bei Bending-Magnet-Quellen werden die Elektronen durch einen Bending-Magneten abgelenkt und Photonen-Strahlung emittiert.

[0013] Wiggler-Quellen umfassen zur Ablenkung des Elektrons beziehungsweise eines Elektronenstrahles einen sogenannten Wiggler, der eine Vielzahl von aneinander gereihten abwechselnd gepolten Magnetpaaren umfaßt. Durchläuft ein Elektron einen Wiggler, so wird das Elektron einem periodischen, vertikalen Magnetfeld ausgesetzt; das Elektron oszilliert dementsprechend in der horizontalen Ebene. Wiggler zeichnen sich weiter dadurch, aus, daß keine Kohärenzeffekte auftreten. Die mittels eines Wigglers erzeugte Synchrotronstrahlung ähnelt der eines Bending-Magneten und strahlt in einen horizontalen Raumwinkel ab. Sie weist im Gegensatz zum Bending-Magneten einen um die Anzahl der Pole des Wicklers verstärkten Fluß auf.

[0014] Der Übergang von Wiggler-Quellen zu Undulator-Quellen ist fließend.

[0015] Bei Undulator-Quellen werden die Elektronen im Undulator einem Magnetfeld mit kürzerer Periode und geringerem Magnetfeld der Ablenkpole als beim Wiggler ausgesetzt, so daß Interferenz-Effekte der Synchrotronstrahlung auftreten. Die Synchrotronstrahlung weist aufgrund der Interferenzeffekte ein diskontinuierliches Spektrum auf und strahlt sowohl horizontal wie vertikal in ein kleines Raumwinkelement ab; das heißt die Strahlung ist stark gerichtet.

[0016] Entscheidend für ein EUV-Beleuchtungssystem ist die Bereitstellung eines ausreichend hohen Lichtleitwertes, d.h. Lagrange optische Invariante oder Etendu. Der Lichtleitwert oder die Lagrange optische Invariante eines Systems ist definiert als das Produkt von beleuchteter Fläche x Apertur im Quadrat.

[0017] Fordert man eine Apertur in der Waferenebene von $NA_{\text{Wafer}} = 0.1-0.25$, so bedeutet dies bei 4:1 Systemen eine Apertur in der Retikelebene von $NA_{\text{Retikel}} = 0.025-0.0625$. Soll das Beleuchtungssystem diese Apertur bis zu einem Füllgrad von beispielsweise $\sigma = 0.6$ homogen und feldunabhängig ausleuchten, so muß die EUV-Quelle über folgenden 2-dim-Lichtleitwert (LLW), d. h. Lagrange optische Invariante oder Etendu verfügen:

$$LLW_{\text{Bel.}} = \sigma^2 LLW_{\text{Obj}} = 0.149 \text{ mm}^2 - 0.928 \text{ mm}^2$$

verfügen. Der Lichtleitwert LLW, d. h. die Lagrange optische Invariante, ist für das betrachtete Lithographiesystem wie folgt allgemein definiert:

$$LLW_{\text{Bel}} = \sigma^2 x \cdot y \cdot NA^2 = \sigma^2 A \cdot NA^2, \text{ wobei } A \text{ die ausgeleuchtete Fläche ist.}$$

A beträgt in der Retikelebene z.B. 110 mm x 6 mm.

[0018] Der Lichtleitwert einer Laser-Plasma-Quelle läßt sich abschätzen als das Produkt der ausgeleuchteten Fläche einer gedachten Einheitskugel um die Quelle und den Aperturwinkel², unter dem jeder Feldpunkt die Kugelquelle sieht.

$$LLW = A \cdot NA^2$$

$$A_{\text{LPQ}} = 2\pi[\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2)]$$

$$NA \approx r_{\text{Quelle}} / 1 \text{ mm} = 0.100$$

wobei θ_1 der minimale Abstrahlwinkel bezüglich der optischen Achse ist und θ_2 der maximale Abstrahlwinkel bezüglich der optischen Achse

$$LLW_{\text{LPQ}} = 2\pi[\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2)] \cdot r_{\text{LPQ}}^2$$

[0019] Mit den typischen Quellparametern:

1. $r_{\text{LPQ}} = 0.1 \text{ mm}$, $\theta_1 = 0^\circ$, $\theta_2 = 90^\circ$ ergibt sich: $LLW_{\text{LPQ}} = 0.063 \text{ mm}^2$. Dies entspricht 27 % des beispielsweise geforderten Lichtleitwertes LLW_{Bel} von beispielsweise 0.236 mm^2 .
2. $r_{\text{LPQ}} = 0.025 \text{ mm}$, $\theta_1 = 0^\circ$, $\theta_2 = 90^\circ$ ergibt sich: $LLW_{\text{LPQ}} = 0.0039 \text{ mm}^2$. Dies entspricht 1.7 % des beispielsweise geforderten Lichtleitwertes von beispielsweise $LLW_{\text{Bel}} = 0.236 \text{ mm}^2$.

[0020] Der Lichtleitwert LLW_{Pinch} einer beispielhaften Pinch-Plasma-Quelle mit Durchmesser = 1 mm, $\Omega = 0,3 \text{ sr}$ beträgt:

$$LLW_{\text{Pinch}} = A \cdot NA^2 = \pi \cdot 1 \text{ mm}^2 / 4 \cdot 0.3053^2 = 0.073 \text{ mm}^2.$$

[0021] Die Pinch-Plasma-Quelle stellt somit 31 % des beispielsweise geforderten Lichtleitwertes von beispielsweise $LLW_{\text{Bel}} = 0.236 \text{ mm}^2$ zur Verfügung.

[0022] Der Lichtleitwert, d. h. die Lagrange optische Invariante oder Etendu, für die Undulator-Quelle läßt sich nach einem vereinfachten Modell bei Annahme eines homogenen Flächenstrahlers mit Durchmesser

$$\varnothing = 1.0 \text{ mm und Apertur } NA_{\text{Und}} = 0.001 \text{ mit}$$

$$LLW_{\text{Und}} = A \cdot NA^2$$

$$A_{\text{Und}} = \pi \cdot (\varnothing / 2)^2 = 0.785 \text{ mm}^2$$

$$NA_{\text{Und}} = 0.001 \text{ zu}$$

$$LLW_{\text{Und}} = A \cdot NA^2 = 0.00000079 \text{ mm}^2 = 7.9\text{e-}07 \text{ mm}^2 \text{ abschätzen.}$$

[0023] Wie aus dieser Abschätzung zu ersehen, ist der Lichtleitwert der Undulatorquelle im Vergleich zum geforderten Lichtleitwert viel zu klein.

[0024] Zur Erhöhung des Lichtleitwertes ist aus der US 5,512,759 ein Beleuchtungssystem mit einer Synchrotron-Strahlungsquelle bekanntgeworden, das ein Kondensorsystem mit einer Vielzahl von Sammelspiegeln umfaßt, die die von der Synchrotron-Strahlungsquelle abgegebene Strahlung sammeln, zu einem ringförmigen Lichtstrahl formen, der mit dem ringförmig auszuleuchtenden Feld korrespondiert. Hierdurch wird das ringförmige Feld sehr gleichmäßig ausgeleuchtet. Die Synchrotron-Strahlungsquelle weist in der Abstrahlebene eine Strahldivergenz > 100 mrad auf.

[0025] Die US 5,439,781 zeigt ein Beleuchtungssystem mit einer Synchrotron-Strahlungsquelle, bei der der Lichtleitwert, d. h. die Lagrange optische Invariante mit Hilfe einer Streuscheibe in der Eintrittspupille des Objektivs eingestellt wird, wobei die Streuscheibe eine Vielzahl von pyramidalen Strukturen aufweisen kann. Auch bei der US 5,439,781 weist die Synchrotron-Strahlungsquelle eine Strahldivergenz > 100 mrad auf. Die Synchrotron-Strahlung wird auch in der US 5 439 781 gebündelt, beispielsweise mit Hilfe eines Kollektorspiegels.

[0026] Der Offenbarungsgehalt sämtlicher zuvor genannten Schriften

US 5,512,759

US 5,439,781

wird in den Offenbarungsgehalt der vorliegenden Anmeldung mit aufgenommen.

[0027] Aufgabe der Erfindung ist es, eine einfach aufgebaute Anordnung anzugeben, mit der der in der Objekt- bzw. Retikelebene geforderte Lichtleitwert erhalten wird.

[0028] Bei einem System der oberbegrifflichen Art wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß mehrere Lichtquellen miteinander gekoppelt werden, um die Austrittspupille des Beleuchtungssystems bis zu einem vorgegebenen Füllgrad auszuleuchten.

[0029] Die Kopplung mehrerer Lichtquellen führt gleichzeitig zu einer Intensitätssteigerung. Eine Kopplung mehrerer Lichtquellen ist so lange möglich, so lange der Gesamtlichtleitwert der gekoppelten Quellen geringer ist als der Lichtleitwert der Beleuchtung (LLW_{Bel}).

[0030] Zur Kopplung können prinzipiell drei Möglichkeiten unterschieden werden:

1. Additionsmethode: Gleiche oder ähnliche Beleuchtungssysteme werden um eine Systemachse verteilt angeordnet. Die Austrittspupille des Beleuchtungssystems wird dabei von den kreisförmigen Pupillen der Teilsysteme ausgeleuchtet, die sich nicht überlappen dürfen. Die Teilpupillen liegen auf den Seitenflächen eines pyramidenförmigen Einkoppelspiegels, der die Lichtbündel auf dem Objekt bzw. Retikel überlagert.

2. Mischmethode: In diesem Fall leuchtet jedes Teilsystem die gesamte Austrittspupille des Beleuchtungssystems aus, jedoch mit lichtfreien Bereichen zwischen den sekundären Lichtquellen. Die einzelnen Gitter der sekundären Lichtquellen sind bei der Überlagerung versetzt angeordnet, um die Pupille gleichmäßig zu füllen. Der Koppelspiegel besteht aus einer Wabenplatte, deren Waben Pyramidenform haben. Jede Seitenfläche einer einzelnen Wabenpyramide wird dabei von einer sekundären Lichtquelle beleuchtet.

3. Segmentmethode: Ähnlich der Additionsmethode. Im Gegensatz zur Additionsmethode wird durch entsprechende Strahlenlenkung statt eines kreisförmigen Ausschnittes der Austrittspupille ein beliebig geformtes Segment ausgeleuchtet.

[0031] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung, die mindestens von einer der obengenannten Methoden Gebrauch machen, sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0032] Nachfolgend soll die Erfindung anhand der Zeichnungen beispielhaft beschrieben werden.

[0033] Es zeigen:

Figur 1 eine erste Ausführungsform der Erfindung, bei der das Licht mehrerer Lichtquellen gemäß der Additions- methode überlagert wird.

Figur 2 die Anordnung der Feldwabenplatten auf einer gleichseitigen Pyramide.

Figur 3 die Ausleuchtung der Austrittspupille eines Systems gemäß Figur 1.

- Figur 4 Ausleuchtung der Austrittspupille bei Kopplung von 3, 4, 5 und 6 Quellen.
- Figur 5 eine zweite Ausführungsform der Erfindung, bei der das Licht mehrerer Lichtquellen gemäß der Additions-
methode in der Blendenebene gekoppelt wird.
- 5 Figur 6 eine dritte Ausführungsform der Erfindung, bei der Licht mehrerer Lichtquellen gemäß der Mischmethode
in der Blendenebene gekoppelt wird.
- Figur 7 Anordnung der Feldwaben auf den Feldwabenplatten eines Systems gemäß Figur 6.
- 10 Figur 8 Anordnung der sekundären Lichtquellen in der Blendenebene bei einem System gemäß Figur 6.
- Figur 9 Ausschnitt aus der Pupillenwabenplatte eines Systems gemäß Figur 6 mit einer Vielzahl von Pyramiden,
auf deren Flanken sich die Pupillenwaben befinden.
- 15 Figur 10 eine vierte Ausführungsform der Erfindung, bei der Licht mehrerer Lichtquellen, mit Hilfe abbildender
Pupillenwaben gemäß der Mischmethode in der Blendenebene gekoppelt wird.
- 20 Figur 11 Ausleuchtung eines Segmentes der Pupillenwabenplatte bei einem System, das nach der Segmentme-
thode arbeitet.

[0034] In Figur 1 ist der Aufbau eines Systems, bei dem die Lichtquellen nach der Additionsmethode miteinander
gekoppelt werden, gezeigt. Als Lichtquellen 1.1, 1.2 werden vorliegend Lichtquellen mit kleinem Quelldurchmesser,
vorliegend Laser-Plasma-Quellen angenommen.

25 [0035] Betreffend den prinzipiellen Aufbau von EUV-Beleuchtungssystemen wird auf die anhängigen Anmeldun-
gen EP 99106348.8, eingereicht am 02.03.1999, mit dem Titel "Beleuchtungssystem, insbesondere für die EUV-Litho-
graphie", US-Serial No. 09/305, 017, eingereicht am 04.05.1999 mit dem Titel "Illumination system particularly for EUV-
Lithography" sowie PCT/EP 99/02999, eingereicht am 04.05.1999, mit dem Titel "Beleuchtungssystem, insbesondere
für die EUV-Lithographie" der Anmelderin verwiesen, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende
30 Anmeldung mitaufgenommen wird.

[0036] Jedes Teilsystem 10.1, 10.2 ist weitgehend gleich aufgebaut und umfaßt eine Lichtquelle 1.1, 1.2, einen Kol-
lektorspiegel 2.1, 2.2 sowie eine Feldwabenplatte 4.1, 4.2.

[0037] Das Licht der jeweiligen Quelle wird mit Hilfe des zugeordneten Kollektorspiegels gesammelt und in ein par-
alleles oder konvergentes Lichtbündel umgewandelt. Die Feldwaben der jeweiligen Feldwabenplatte 4.1, 4.2 zerlegen
35 die Lichtbündel und erzeugen in der Blendenebene des Beleuchtungssystems sekundäre Lichtquellen 6. Diese
sekundären Lichtquellen werden durch die nicht dargestellte Feldlinse beziehungsweise Feldspiegel in die Austrittspu-
pille des Beleuchtungssystems, die die Eintrittspupille des Objektivs ist, abgebildet. Die Feldwaben der Feldwaben-
platte sind auf der Platte so ausgerichtet und angeordnet, daß die Bilder der Feldwaben in der Retikelebene 9 sich
überlagern.

40 [0038] Zusammengefügt werden die Systeme am Ort der Feldwabenplatten. Die Feldwabenplatten sitzen auf einer
Pyramide, deren Seitenzahl der Anzahl der gekoppelten Teilsysteme entspricht. Der Neigungswinkel der Pyramiden-
seiten ist derart gewählt, daß die Feldausleuchtung der Teilsysteme in der Retikelebene 9 zur Deckung kommt.

[0039] Die Anordnung der Teilsysteme 10.1, 10.2 erfolgt derart, daß ihre Teilpupillen die Blendenebene des
Beleuchtungssystems optimal füllen.

45 [0040] In der dargestellten Ausführungsform sind die Teilsysteme so orientiert, daß sie eine gemeinsame System-
achse besitzen. Der Winkelabstand der Teilsysteme beträgt dann $360^\circ / \text{Systemanzahl}$.

[0041] Für vier Teilsysteme ist in Figur 2 die Ausleuchtung der Pyramide, auf deren vier Seitenflächen 20.1, 20.2,
20.3, 20.4 im Bereich der ausgeleuchteten Fläche 22.1, 22.2, 22.3, 22.4 je eine Feldwabenplatte eines Teilsystems
angeordnet ist, gezeigt.

50 [0042] Die Feldwaben sind so ausgerichtet und angeordnet, daß die Bilder in der Retikelebene 9 sich überlagern.
Der Neigungswinkel der Pyramidenflächen 20.1, 20.2, 20.3, 20.4 ist so gewählt, daß die Feldausleuchtung der Teilsy-
steme in der Retikelebene zur Deckung kommt.

[0043] Die Ausleuchtung in der Blendenebene ist durch vier kreisförmige Teilpupillen 30.1, 30.2, 30.3, 30.4 wie in
Figur 3 gezeigt gegeben, die wiederum entsprechend der Facettierung der Feldwabenplatten in einzelne sekundäre
55 Lichtquellen 6 unterteilt sind.

[0044] In Figur 3 beträgt die Apertur des Gesamtsystems $NA_{\text{Obj}} = 0.025$ und die Apertur der Teilsysteme $NA_{\text{Teilsy-}}$
 $\text{stem}} = 0.0104$.

[0045] Je nach Anzahl der gekoppelten Teilsysteme kann man sich die in Figur 5 gezeigte Anordnung und Symme-

trien der Teilpupillen 30.1, 30.2, 30.3, 30.4, 30.5, 30.6 vorstellen.

[0046] Die zulässigen Blendendurchmesser der Teilsysteme ergeben sich aus der Gesamtapertur NA_{Obj} des Objektivs in der Blendenebene und der Anzahl der Teilsysteme.

$$NA_{Teilsystem} = \frac{NA_{Obj}}{1 + \frac{1}{\sin\left(\frac{\pi}{Anzahl}\right)}}$$

[0047] Bei gefüllter Pupille jedes Teilsystems läßt sich die Pupille zu $\eta\%$ maximal ausleuchten.

$$\eta = Anzahl \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{\sin\left(\frac{\pi}{Anzahl}\right)}\right)^2}$$

[0048] Die folgende Tabelle gibt $NA_{Teilsystem}$ und den Füllfaktor η für $NA_{Obj} = 0.025$:

Anzahl Teilsysteme	$NA_{Teilsystem}$	Füllfaktor η_{max}
2	0.0125	0,500
3	0.0116	0.646
4	0.0104	0.686
5	0.0093	0.685
8	0.0083	0.667
7	0.0076	0.641
8	0.0069	0.613
9	0.0064	0.585
10	0.0059	0.557

[0049] Hieraus ergibt sich, daß der maximal erreichbare Füllfaktor mit der Additionsmethode bei vier Teilsystemen und $NA_{Obj} = 0.025$ mit $\eta_{max} \approx 0.7$ erreicht wird. Als Nebenbedingung ist zu beachten, daß der Gesamtlichtwert der gekoppelten Quellen den Systemlichtwert $LLW_{Bel} = \sigma_{max} \cdot LLW_{Obj}$ nicht überschreiten darf; also stets gelten muß:

$$\sum_{\text{alle Quellen}} LLW_i \leq LLW_{Bel} .$$

[0050] In Figur 5 ist eine zweite Ausführungsform der Erfindung gezeigt, bei der als Lichtquellen 50.1, 50.2 zum Beispiel Pinch-Plasma-Quellen verwandt werden, die einen nicht zu vernachlässigenden Quelldurchmesser aufweisen.

[0051] Ein Teil-Beleuchtungssystem mit Pinch-Plasma-Quelle umfaßt die Lichtquelle 50.1, 50.2, einen Kollektorspiegel 52.1, 52.2, der das Licht sammelt und in die Feldwabenplatte 54.1, 54.2 beleuchtet. Die Feldwaben der Feld-

wabenplatte erzeugen sekundäre Lichtquellen. Am Ort der sekundären Lichtquellen sind auf einer Pupillenwabenplatte die Pupillenwaben angeordnet. Die Feldwaben der Feldwabenplatte dienen der Feldformung und die Pupillenwaben der Pupillenwabenplatte der korrekten Abbildung der Feldwaben in die Retikelebene. Bevorzugt ist jeder Feldwabe eine Pupillenwabe zugeordnet. Durch Reflexion an den Feldwaben wird das Licht zu den jeweiligen Pupillenwaben der Pupillenwabenplatte 56.1, 56.2 geführt und von dort zum Retikel, beispielsweise Objekt 58.

[0052] Zusammengefügt werden die Systeme am Ort der Pupillenwabenplatten. Die Pupillenwabenplatten sitzen auf einer Pyramide, deren Seitenzahl der Anzahl der gekoppelten Teilsysteme entspricht. Der Neigungswinkel der Pyramidenseiten ist derart gewählt, daß die Felddausleuchtung der Teilsysteme in der Retikelebene zur Deckung kommt.

[0053] Besitzen die Teilsysteme eine gemeinsame Systemachse, so beträgt der Winkelabstand der Teilsysteme $360^\circ / \text{Anzahl der Systeme}$ und die Pupillenwabenplatten der Teilsysteme sind bevorzugt auf den Seitenflächen einer Pyramide wie in Figur 2 gezeigt angeordnet.

[0054] Der Vorteil der Additionsmethode bei Kopplung liegt darin, daß gleiche oder ähnliche Beleuchtungssysteme gekoppelt werden können. Die Wabenplatten der Teilsysteme sind getrennt und können somit separat gefertigt werden.

[0055] Bei der Additionsmethode ist zu beachten, daß sich Intensitätsunterschiede der einzelnen Quellen direkt in die Ausleuchtung der Pupille übertragen, so daß die Intensität der Teilpupillen somit durch die Quelleistung gegeben ist.

[0056] Die Intensitätsverteilung in der Blendenebene wird unabhängig von den Intensitäten der einzelnen Quellen, wenn man die sekundären Lichtquellen in der Pupillenebene mischt. Dieses Verfahren wird nachfolgend auch als Mischmethode bezeichnet.

[0057] Während sich bei der Additionsmethode die Strahlbüschel jeder Quelle erst nach der Blendenebene durchdringen, werden bei der Mischmethode die Strahlbüschel in der Blendenebene überlagert. Die Maximalapertur für jedes Teilsystem ist dabei an den gewünschten Füllgrad der Objektivapertur angepaßt. Ähnlich wie bei der Additionsmethode können gleich aufgebaute Systeme für die einzelnen Quellen gekoppelt werden. Sie sind gleichmäßig um eine gemeinsame Systemachse angeordnet. Gekoppelt werden die Systeme in der Ebene der sekundären Lichtquellen.

[0058] In Figur 6 ist ein Beleuchtungssystem, dem die Mischmethode zur Kopplung mehrerer Lichtquellen zugrundeliegt, gezeigt.

[0059] Als Lichtquellen werden wieder Laser-Plasma-Quellen verwandt. Gleiche Bauteile wie in Figur 5 werden mit denselben Bezugsziffern belegt. Im Gegensatz beispielsweise zu Figur 5 ist eine einzige Platte 100, die in eine Vielzahl von Pyramiden gegliedert ist, vorgesehen. Die Pupillenwabenplatte ist am Ort der sekundären Lichtquellen, die von den Feldwaben erzeugt werden, angeordnet. Auf jeder Flanke der Vielzahl von Pyramiden kommt eine sekundäre Lichtquelle zu liegen.

[0060] Die schematische Darstellung gemäß Figur 7 zeigt eine typische Anordnung der Feldwaben 110 auf der Feldwabenplatte 102. Die Feldwaben erzeugen in der Blendenebene Gitter von sekundären Lichtquellen, deren Verteilung in der Blendenebene der Anordnung der Feldwaben entspricht.

[0061] Durch Verschieben der Teilsysteme kann wie in Figur 8 dargestellt erreicht werden, daß entsprechend der Anzahl der Teilsysteme die Gitter der sekundären Lichtquellen nebeneinander zum Liegen kommen.

[0062] Bei der Kopplung von vier Quellen ergibt sich die in der schematischen Darstellung gemäß Figur 8 wiedergegebene Anordnung der sekundären Lichtquellen 6. Zur korrekten Überlagerung der vier Teilsysteme liegt jedes Set von sekundären Lichtquellen auf jeweils einer verspiegelten Pyramide, deren Flanken so geneigt sind, daß die Lichtbüschel in der Retikelebene überlagert werden. Die schematische Darstellung gemäß Figur 9 zeigt einen Ausschnitt aus der Pupillenwabenplatte. Deutlich zu erkennen die einzelnen Pupillenwaben 104, die von den Flanken einer gleichseitigen Pyramide 106 ausgebildet werden.

[0063] Ist der Lichtleitwert (LLW) der einzelnen Quellen klein, so können die Pupillenwaben als Planspiegel ausgelegt werden, das heißt, die Flanken der gleichseitigen Pyramide 106 sind plan ausgebildet.

[0064] Bei Quellen mit nicht vernachlässigbarem Quelldurchmesser wie beispielsweise Pinch-Plasma-Quellen, müssen die Pupillenwaben 104 die Feldwaben in die Objektebene, beispielsweise Retikelebene, abbilden. In diesem Fall muß in die Pyramidenflanken eine sammelnde Spiegelfläche 108 eingearbeitet werden.

[0065] Die schematische Darstellung gemäß Figur 10 zeigt ein System, in dem mehrere Pinch-Plasma-Quellen gekoppelt sind mit einer Pupillenwabenplatte umfassend derartige Pupillenwaben. Gleiche Bauteile wie in Fig. 6 sind mit denselben Bezugsziffern belegt.

[0066] Die in den Figuren 5 bis 10 gezeigten Beispiele sind für vier gekoppelte Quellen ausgelegt. Die gleiche Methode läßt sich jedoch auf für drei, fünf, sechs oder mehr Quellen anwenden. Die Verschiebung der Gitter sollte dann so erfolgen, daß die sekundären Lichtquellen auf den Seitenflächen von Pyramiden zu liegen kommen. Der Füllgrad der Pupille ist ähnlich wie bei der Additionsmethode begrenzt.

[0067] Die Vorteile der Mischmethode sind, daß die einzelnen Quellen in der Pupillenebene gemischt werden. Intensitätsschwankungen der Quellen zeigen sich nicht in einer inhomogenen Pupillenausleuchtung. Des weiteren

kann die Systempupille gleichmäßiger mit sekundären Lichtquellen gefüllt werden.

[0068] Als dritte Methode der Kopplung mehrerer Lichtquellen soll die Segmentmethode beschrieben werden.

[0069] Die Segmentmethode arbeitet analog zur Additionsmethode. Die gekoppelten Beleuchtungssysteme werden gleichmäßig um eine gemeinsame Systemachse verteilt. Jedem Teilsystem steht dabei in der Blendenebene das entsprechende Segment zum Füllen zu. Statt dieses Segment mit einem Kreis zu füllen wie bei der Additionsmethode kann man durch Ausrichtung der Feldwaben auf der Feldwabenplatte das Segment gleichmäßig auffüllen. Figur 11 zeigt die Ausleuchtung eines Segmentes 200 der Systempupille 202, wenn vier Quellen gekoppelt werden.

[0070] Damit die einzelnen Lichtbüschel in der Retikelebene wieder korrekt überlagert werden, müssen am Ort der sekundären Lichtquellen Pupillenwaben angebracht sein, die die Lichtbüschel so umlenken, daß sie in der Retikelebene überlagert werden. Je nach Quellgröße sind die Pupillenwaben plan ausgelegt oder besitzen eine sammelnde Wirkung.

[0071] Feld- und Pupillenwaben sind dadurch einzeln und ohne Symmetrie gekippt.

[0072] Die Vorteile der Segmentmethode liegen darin, daß durch die paarweise Verkippung von Feld- und Pupillenwabe eine optimale Füllung der Blendenebene mit sekundären Lichtquellen 6 möglich ist.

[0073] Obwohl in sämtlichen vorangegangenen Ausführungsbeispielen in den Beleuchtungssystemen den Linsen bzw. Spiegeln mit Rasterelementen nachgeordnete optische Elemente nicht dargestellt wurden, ist für den Fachmann offensichtlich, daß beispielsweise zur Feldformung des Ringfeldes in der Retikelebene den Linsen bzw. Spiegeln mit Rasterelementen nachgeordnete Feldlinsen oder Feldspiegel vorgesehen werden müssen. Diesbezüglich wird betreffend den prinzipiellen Aufbau von EUV-Beleuchtungssystemen auf die anhängigen Anmeldungen EP 99106348.8, eingereicht am 02.03.1999, mit dem Titel "Beleuchtungssystem, insbesondere für die EUV-Lithographie", US-Serial No. 09/305, 017, eingereicht am 04.05.1999 mit dem Titel "Illumination System particularly for EUV-Lithography" sowie PCT/EP 99/02999, eingereicht am 04.05.1999, mit dem Titel "Beleuchtungssystem, insbesondere für die EUV-Lithographie" der Anmelderin verwiesen, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen wird.

Patentansprüche

1. Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere für die EUV-Lithographie mit

1.1 mehreren Lichtquellen

1.2 einer Spiegelvorrichtung zur Erzeugung sekundärer Lichtquellen umfassend mehrere Spiegel, der bzw. die in Rasterelemente gegliedert sind, dadurch gekennzeichnet, daß

1.3 die mehreren Lichtquellen miteinander gekoppelt werden, um die Austrittspupille des Beleuchtungssystems bis zu einem vorgegebenen Füllgrad auszuleuchten.

2. Beleuchtungssystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegel der Spiegelvorrichtung zur Erzeugung sekundärer Lichtquellen Rasterelemente zur Feldformung umfassen.

3. Beleuchtungssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die mehreren Spiegel mit Rasterelementen als Feldwabenplatten ausgebildet sind.

4. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß

die Rasterelemente auf der Feldwabenplatte derart angeordnet und ausgerichtet sind, daß die Bilder der Rasterelemente in der Objekt- bzw. Retikelebene zur Überlagerung kommen.

5. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 3 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß

die Anzahl der Rasterelemente auf jeder Feldwabenplatte gleich ist.

6. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß

die Feldwabenplatten auf einer Pyramide angeordnet sind.

7. Beleuchtungssystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß, die Anzahl der Seiten der Pyramide der Anzahl der gekoppelten Lichtquellen entspricht.

8. Beleuchtungssystem nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Koppelement eine Pyramide ist, die als Träger für die Feldwabenplatten dient.
9. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß
5 die Seiten der Pyramide so ausgerichtet sind, daß die Bilder der Rasterelemente der Feldwabenplatten in der Retikelebene überlagert werden.
10. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem eine weitere Spiegelvorrichtung umfaßt, die mindestens einen Spiegel mit Rasterelementen aufweist.
11. Beleuchtungssystem nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die weitere Spiegelvorrichtung mehrere Spiegel mit Rasterelementen umfaßt.
12. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 10 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die weitere Spiegelvorrichtung am Ort der sekundären Lichtquellen angeordnet ist.
13. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente Pupillenwaben sind.
14. Beleuchtungssystem nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Pupillenwaben auf einer Pupillenwabenplatte angeordnet sind.
15. Beleuchtungssystem nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Pupillenwabenplatten auf einer Pyramide angeordnet sind.
16. Beleuchtungssystem nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der Seiten der Pyramide der Anzahl der gekoppelten Lichtquellen entspricht.
17. Beleuchtungssystem nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Koppelement eine Pyramide ist, die als Träger für die Pupillenwabenplatte dient.
18. Beleuchtungssystem nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Seiten der Pyramide so ausgerichtet sind, daß die Bilder der Rasterelemente der Feldwabenplatte in der Retikelebene überlagert werden.
19. Beleuchtungssystem nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die weitere Spiegelvorrichtung genau einen Spiegel mit Rasterelementen umfaßt.
20. Beleuchtungssystem nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die weitere Spiegelvorrichtung am Ort der sekundären Lichtquellen angeordnet ist.
21. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 19 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente Pupillenwaben sind und am Ort jeder sekundären Lichtquelle eine Pupillenwabe angeordnet ist.
22. Beleuchtungssystem nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Pupillenwaben auf einer Pyramide angeordnet sind, wobei auf jeder Pyramidenflanke nur eine sekundäre Lichtquelle zum Liegen kommt.
23. Beleuchtungssystem gemäß Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der Seiten der Pyramide der Anzahl der Lichtquellen entspricht.
24. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Pupillenwaben auf den Pyramidenflanken eine sammelnde Spiegelfläche umfassen.
25. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Pyramidenflächen plan sind.
26. Beleuchtungssystem nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Seiten der Pyramide so ausgerichtet sind, daß die Bilder der Rasterelemente der Feldwabenplatten in der Retikelebene überlagert werden.

27. Beleuchtungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Feldwaben auf der Feldwabenplatte derart verteilt und gekippt angeordnet sind, daß ein Segment in der Blendenebene des Beleuchtungssystems gleichmäßig mit sekundären Lichtquellen gefüllt wird.

5 28. Beleuchtungssystem nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß eine weitere Spiegelvorrichtung, die Spiegel mit Rasterelementen umfaßt, am Ort der sekundären Lichtquellen angeordnet ist.

29. Beleuchtungssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente der weiteren Spiegelvorrichtung Pupillenwaben sind.

10 30. Beleuchtungssystem nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Pupillenwaben plan ausgebildet sind.

31. Beleuchtungssystem nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Pupillenwaben eine derartige Oberfläche umfassen, daß sie eine sammelnde Wirkung aufweisen.

15 32. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 27 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Pupillenwaben derart verteilt und gekippt angeordnet sind, daß sich die Bilder der Feldwaben in der Retikelebene überlagern.

20 33. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelvorrichtung oder den mehreren Spiegelvorrichtungen mit Spiegeln oder Linsen mit Rasterelementen optische Elemente nachgeordnet sind.

25 34. Beleuchtungssystem nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Elemente Feldlinsen oder Feldspiegel zur Feldformung umfassen.

35. EUV-Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 34

einer Maske

einem Projektionsobjektiv

30 einem lichtempfindlichen Objekt auf einem Trägersystem.

36. EUV-Projektionsbelichtungsanlage gemäß Anspruch 35, ausgeführt als Scanning-System.

35 37. Verfahren zur Herstellung von mikroelektronischen Bauteilen mit einer Projektionsbelichtungsanlage gemäß einem der Ansprüche 33 bis 34.

40

45

50

55

Fig.1

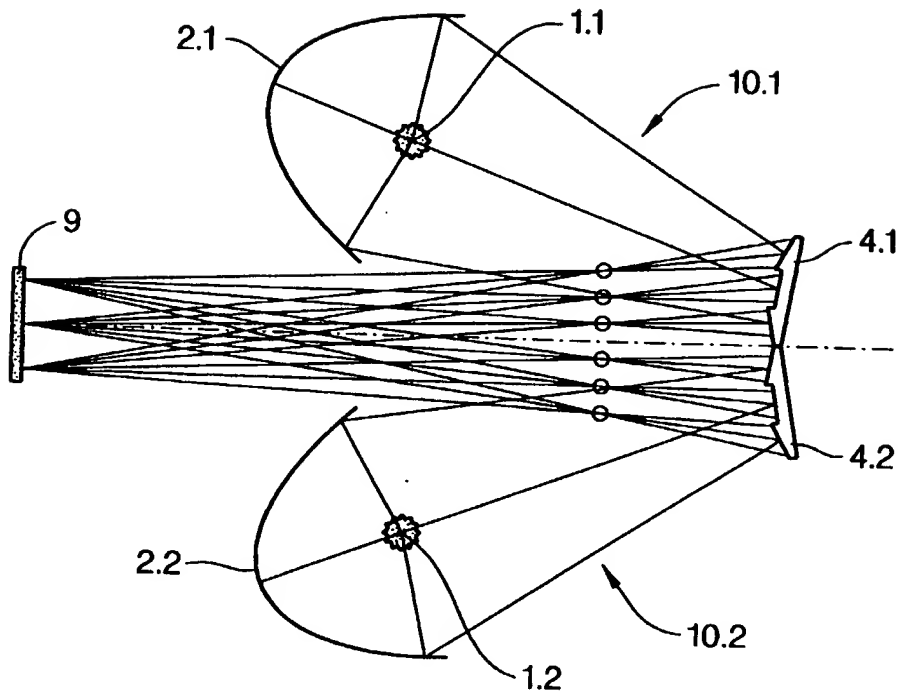


Fig.2

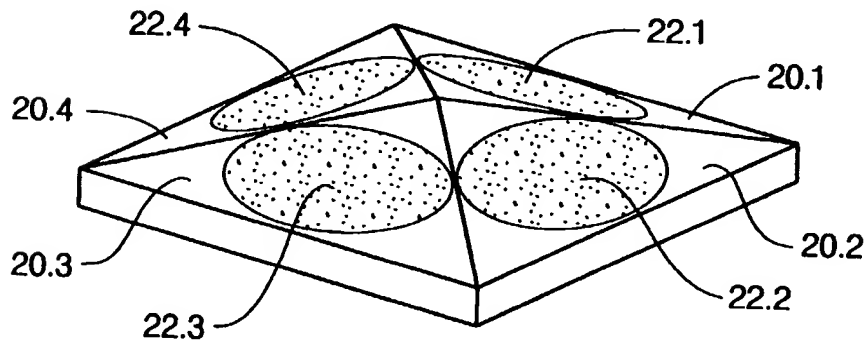


Fig.3

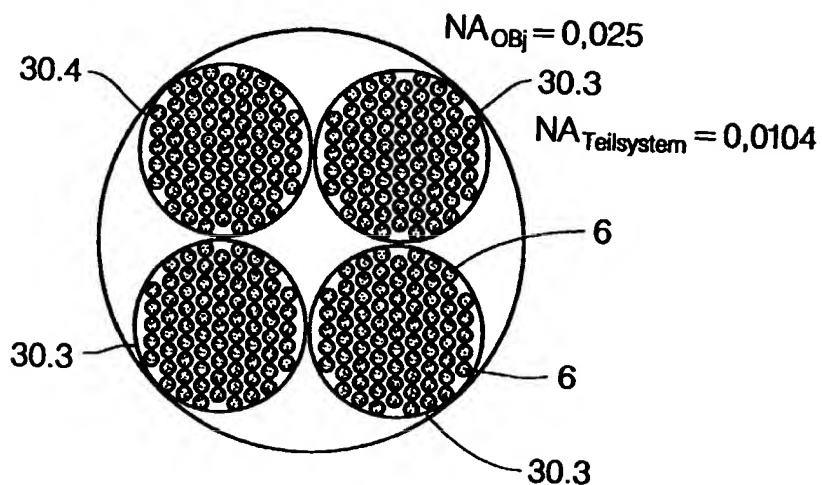


Fig.4A

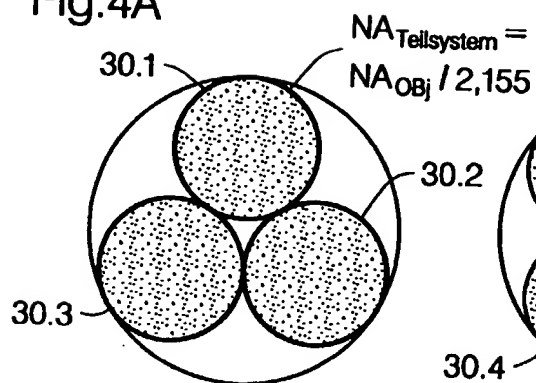


Fig.4B

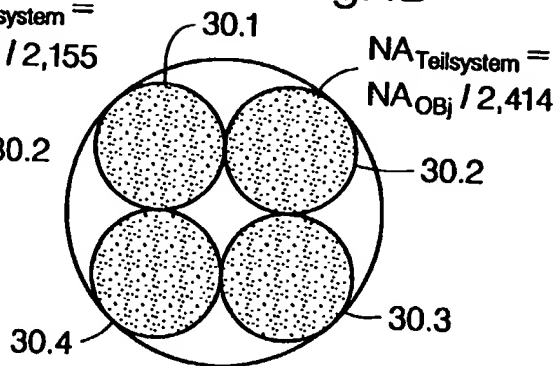


Fig.4C

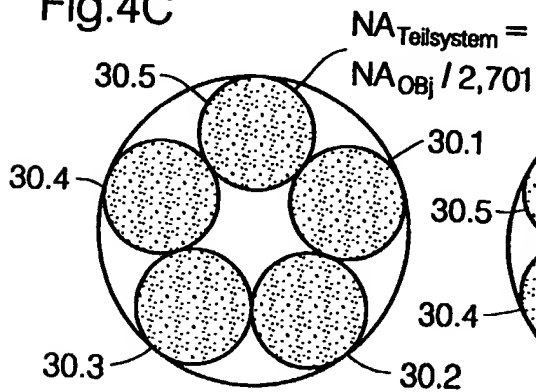
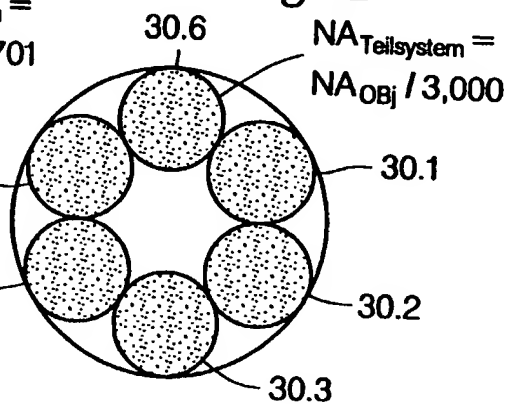


Fig.4D



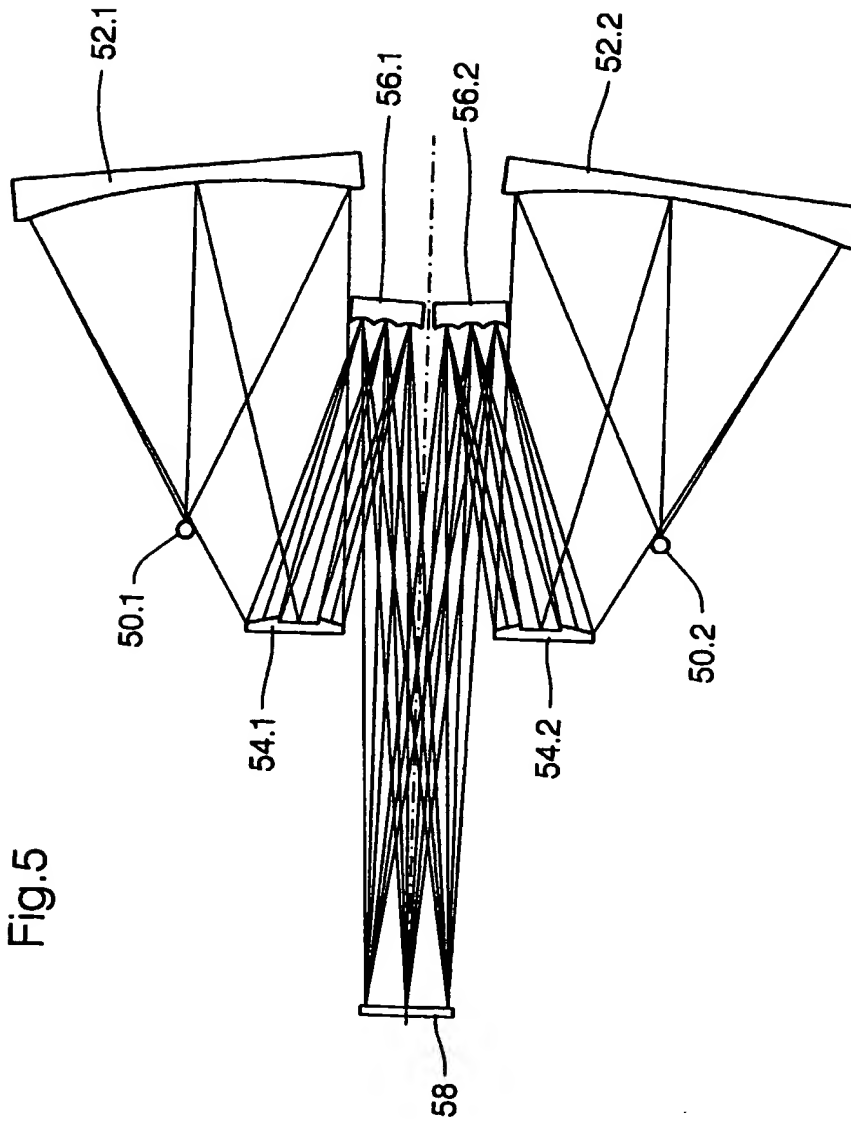


Fig.5

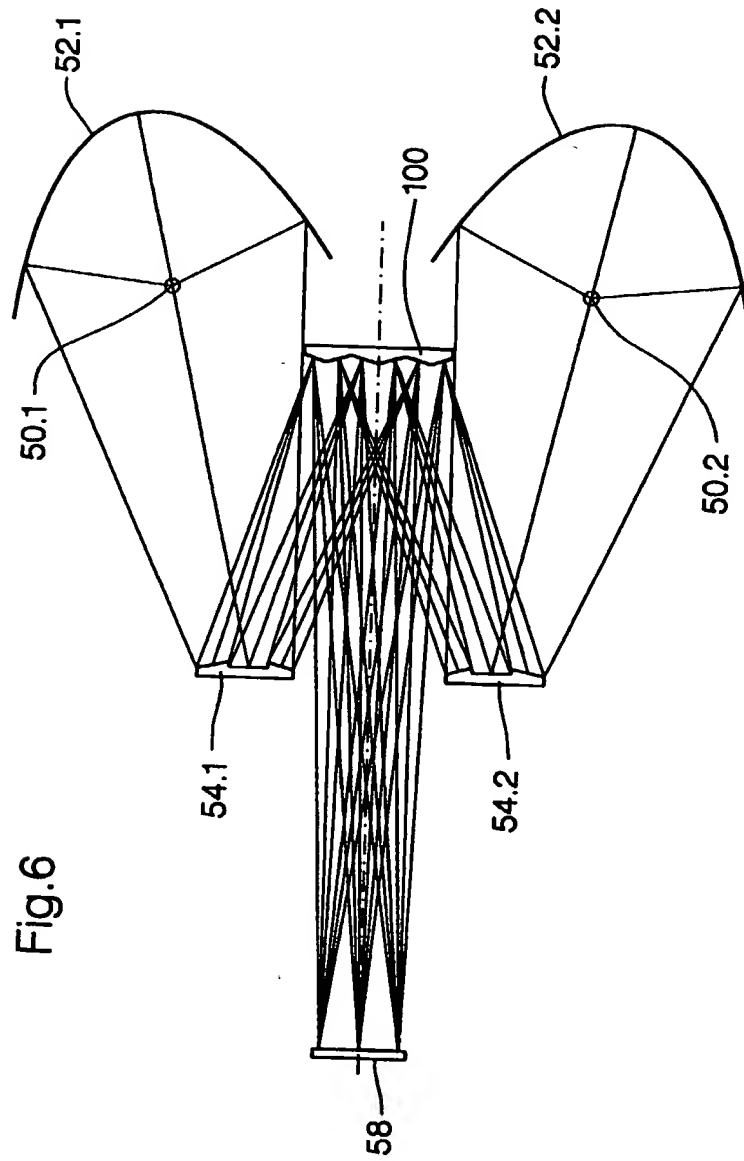


Fig.6

Fig.7

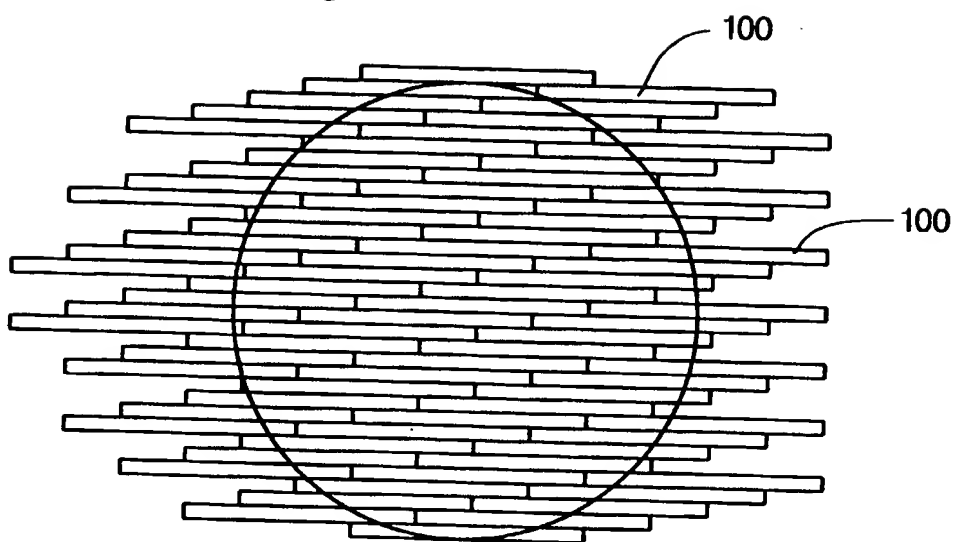


Fig.8

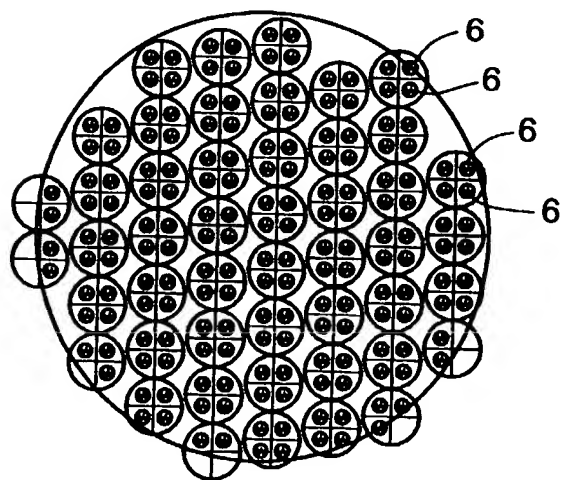


Fig.9

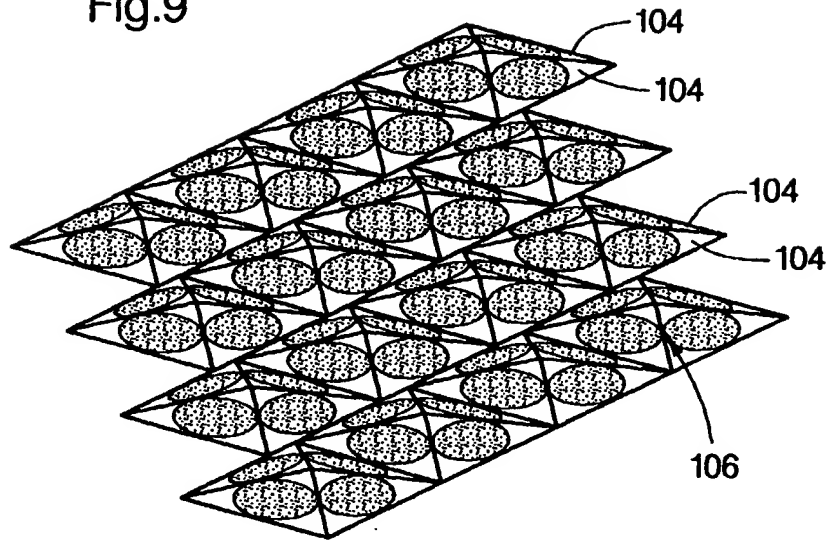
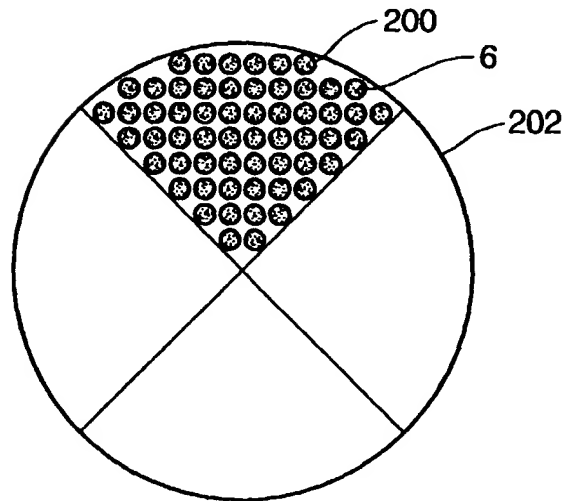


Fig.11



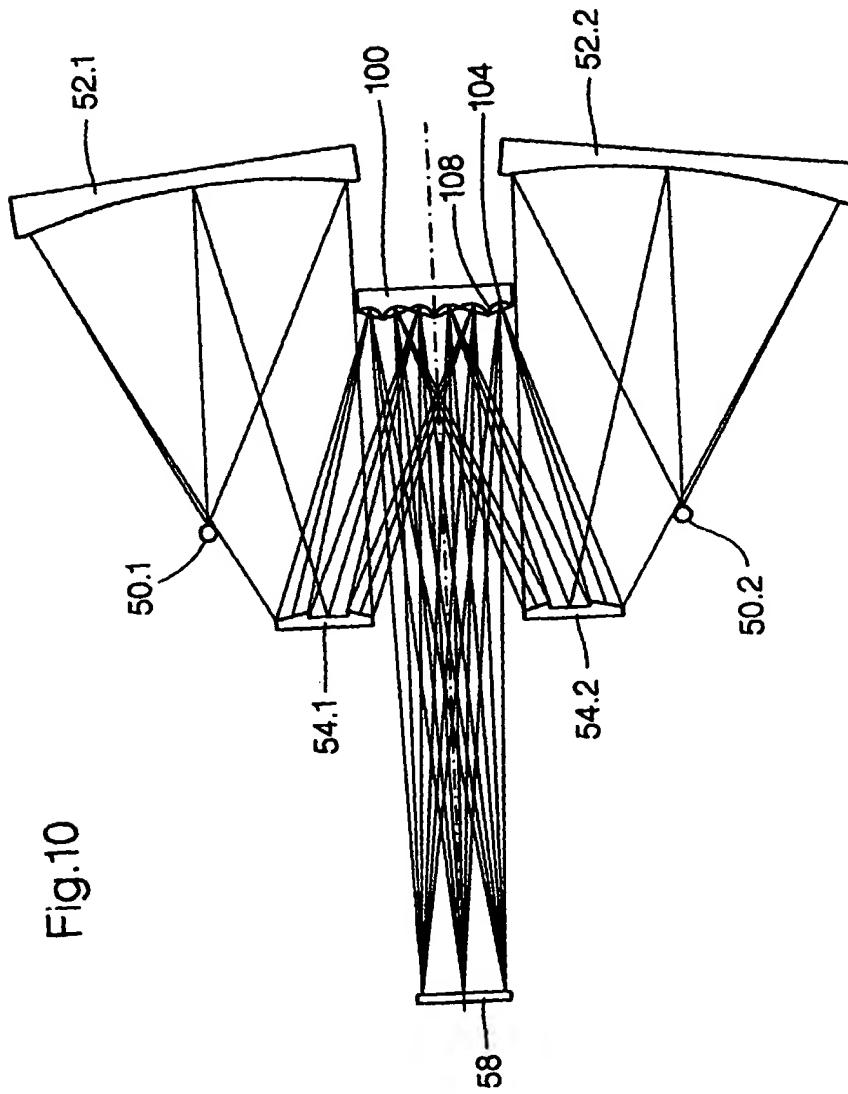


Fig.10